

# Estructuras discontinuas y migración de fluidos durante la evolución tectónica paleógena-neógena de los materiales del Jurásico Superior de la Cuenca del Maestrazgo: Estudio estructural, mineralógico y geoquímico

M. Tsige<sup>1</sup>, M.A. Caja<sup>2</sup>, R. Marfil<sup>2</sup>, R. Salas<sup>3</sup>, T. Martín-Crespo<sup>4</sup> e I. Al-Aasm<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Dpto. de Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid. meaza@geo.ucm.es

<sup>2</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica, UCM, 28040 Madrid. mcaja@geo.ucm.es, marfil@geo.ucm.es

<sup>3</sup> Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Facultat de Geologia, Martí i Franquès s/n, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona. ramonsalas@ub.edu

<sup>4</sup> ESCET, Univ. Rey Juan Carlos, 28933 Madrid. t.martin@escet.urjc.es

<sup>5</sup> Department of Earth Sciences, University of Windsor, Ontario (Canada, N9B 3P4). alaasm@uwindsor.ca

## ABSTRACT

*In the western part of the Maestrat Basin (Iberian Range) dolomite and calcite hydrothermal cements fill fractures and "chimney" structures in Tithonian-Berriasian limestones. The timing of fracture cementation is considered in the context of the structural history of the Alpine Orogeny. Three generations of structures filled with carbonate cements were recognized: A) Fractures formed during the Late Eocene-Miocene compressional stage were filled with calcite cement (-8.8‰ d18O and +0.8 d13C VPDB) from a fluid of uncertain origin. B) Extensional fractures and C) "pipe-shaped" structures developed during the Miocene-Pliocene extensional phase, are filled with four generations of carbonate cements: 1) rhombic dolomites; 2) saddle dolomite characterized by high salinity (21.5 to 23.5 % wt. eq. NaCl), high temperatures (Th 110-155°C) and isotopically light d18O ratios (-11.5 to -11.3‰ VPDB); 3) calcite replacing (dedolomite) saddle and rhombic dolomite with variable d18O and d13C ratios (-12.2 to -6.8‰ d18O; -4.4 to +0.2‰ d13C), and 4) calcite cement (110-125°C and 160-260°C), with depleted oxygen isotope ratios (-13.4 to -10 ‰ d18O) and positive carbon ratios (+0.1 to +1.8 ‰ d13C). These data indicate an hydrothermal, saline and dolomitizing fluid linked to the lexiviation of the Triassic-Liassic evaporites, followed by an input of meteoric water (dedolomitization), which evolved to hydrothermal calcite.*

**Key words:** *discontinue structures, carbonate cements, geofluids, Alpine deformation, Iberian Range.*

## INTRODUCCIÓN

En la evolución tectónica Alpina de la Cordillera Ibérica se distinguen varias etapas de deformación que están representadas por distintos conjuntos de estructuras discontinuas. En la parte occidental de la cuenca del Maestrazgo (subcuenca de Penyagolosa) se han estudiado las cementaciones carbonáticas que rellenan las estructuras frágiles de diferentes etapas de deformación en las calizas Titónico-Berriasiense. Se han reconocido varias micro-estructuras generadas durante diferentes campos de esfuerzos, asociados a las etapas tectónicas de evolución de la Cordillera Ibérica (Capote *et al.*, 2002, Simón, 1984, Liesa, 2000). El objetivo fundamental de este trabajo es analizar las características petrológicas y geoquímicas del relleno de las fracturas originadas durante las diferentes etapas de evolución tectónica y caracterizar la génesis de los fluidos que han cir-

culado en cada una de ellas. Para ello, la metodología empleada ha consistido en un estudio estructural preliminar y muestreo de 41 calizas que presentaban rellenos carbonáticos asociados a las estructuras diferenciadas. Las técnicas de laboratorio empleadas fueron análisis petrográfico, catodoluminiscencia, análisis químicos mediante microsonda electrónica, estudio microtermométrico de inclusiones fluidas y la obtención de valores de isótopos de C y O (en el laboratorio de la Universidad de Windsor, Canadá), según el procedimiento de Al-Aasm *et al.* (1990).

## MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio está ubicado en la Cuenca del Maestrazgo (Cordillera Ibérica) concretamente en el borde Oeste de la subcuenca de Penyagolosa, localidad de Cedrillas, Teruel (Fig.1). La subcuenca de Penyagolosa es una de las



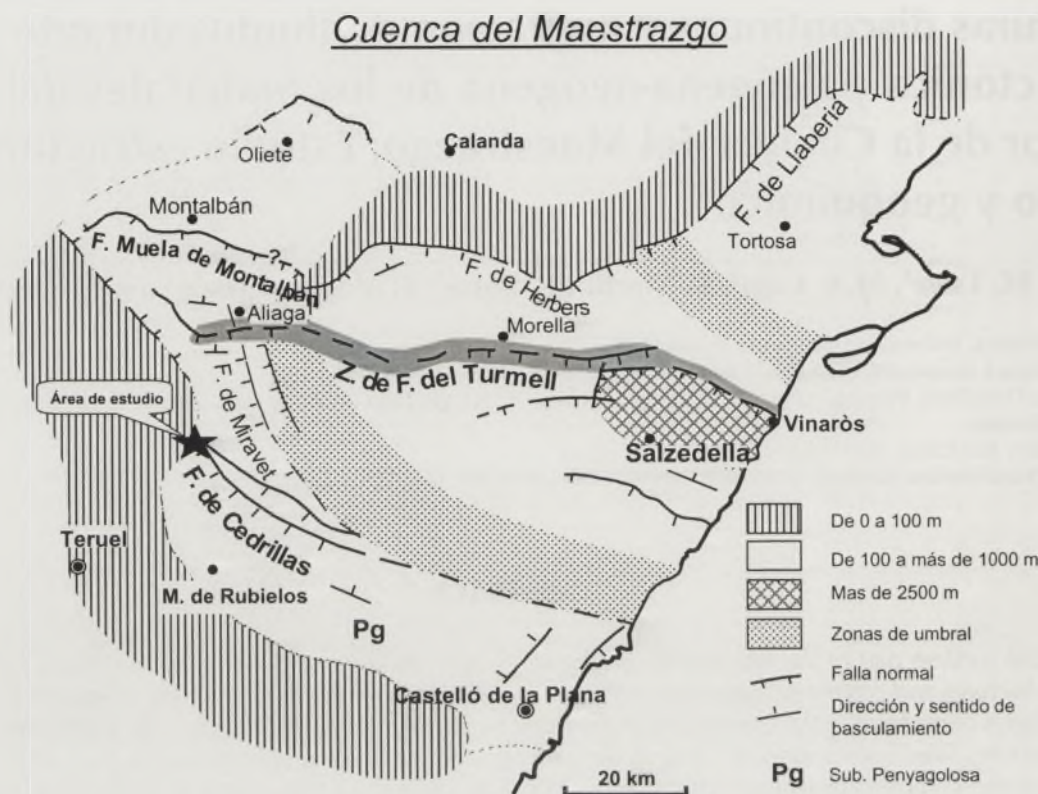


FIGURA 1: Mapa de situación del área estudiada.

siete subcuencas que se diferenciaron durante la etapa de *rifting* Jurásico superior-Cretácico inferior (Oxfordiense-Albiense medio; Salas y Guimerà, 1997). Esta subcuenca está limitada al NE por la falla de Cedrillas que pertenece al sistema de fallas lítricas extensivas de dirección ESE-ONO, con un nivel de despegue situado a poca profundidad en la corteza superior (Muschelkalk medio evaporítico) y que controlaron el relleno y las facies de la subcuenca de Penyalgosa (Salas y Guimerà, 1997). Posteriormente este sistema de fallas y las estructuras extensivas fueron reactivadas e invertidas durante la compresión Alpina.

Las calizas de la Fm Bovalar, de edad Titónico-Berriasiense inferior, en la zona de Cedrillas y Galve corresponden a una secuencia de plataforma somera, de escasa pendiente, caracterizada por calizas con bioclastos, ocasionalmente estratificadas en bancos gruesos que contienen una alta y variada proporción de componentes aloquímicos, entre los que destacan los oncoides (packstone/grainstone oolítico-oncolítico). Los espesores en esta zona pueden llegar a superar los 850 m (Aurell *et al.*, 1994).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis estructural

En el área estudiada se han distinguido tres grupos fundamentales de estructuras discontinuas correspondientes a tres fases de deformación con una secuencia similar a la

descrita en la zona por Capote *et al.* (2002), Simón (1984) y Liesa (2000): (A) dos familias de estilolitos, (B) dos familias de grietas de extensión asociadas a los estilolitos y (C) dos familias de fallas frágiles.

En el primer grupo (A) se han identificado dos familias de estilolitos. La primera familia (e1) corresponde a estilolitos transversales con picos sub-horizontales. La dirección predominante de los picos es de  $110^{\circ}$ - $130^{\circ}$ , lo que nos permite inferir una dirección de acortamiento ESE de carácter regional y asociada a la compresión Alpina del Neógeno (Simón, 1984 y Liesa, 2000). La segunda familia, corresponde a estilolitos estratiformes (e2) bien desarrollados (Fig. 2a). Estos presentan picos sub-verticales de tipo columnar.

Al segundo grupo (B) corresponden las grietas de extensión semi-verticales estructuralmente asociadas a los estilolitos. Los datos estructurales de estas fracturas contienen dos máximos correspondientes a dos familias principales, uno NNE (g1) y otro con un abanico entre SE-NE (g2). La distinción entre ambas familias se ha podido ver también por las diferencias en el relleno carbonático, que presenta coloraciones blanquecinas (g1) y parduscas (g2), respectivamente. Las grietas de extensión forman una relación algo compleja, haciendo difícil establecer las relaciones cronológicas entre ellas. No obstante, en algunos puntos se ha observado que las grietas de extensión g1 están cortadas por las g2 (Fig. 2b). Según esta relación los estilolitos transversales están cortados por los estratiformes e2.



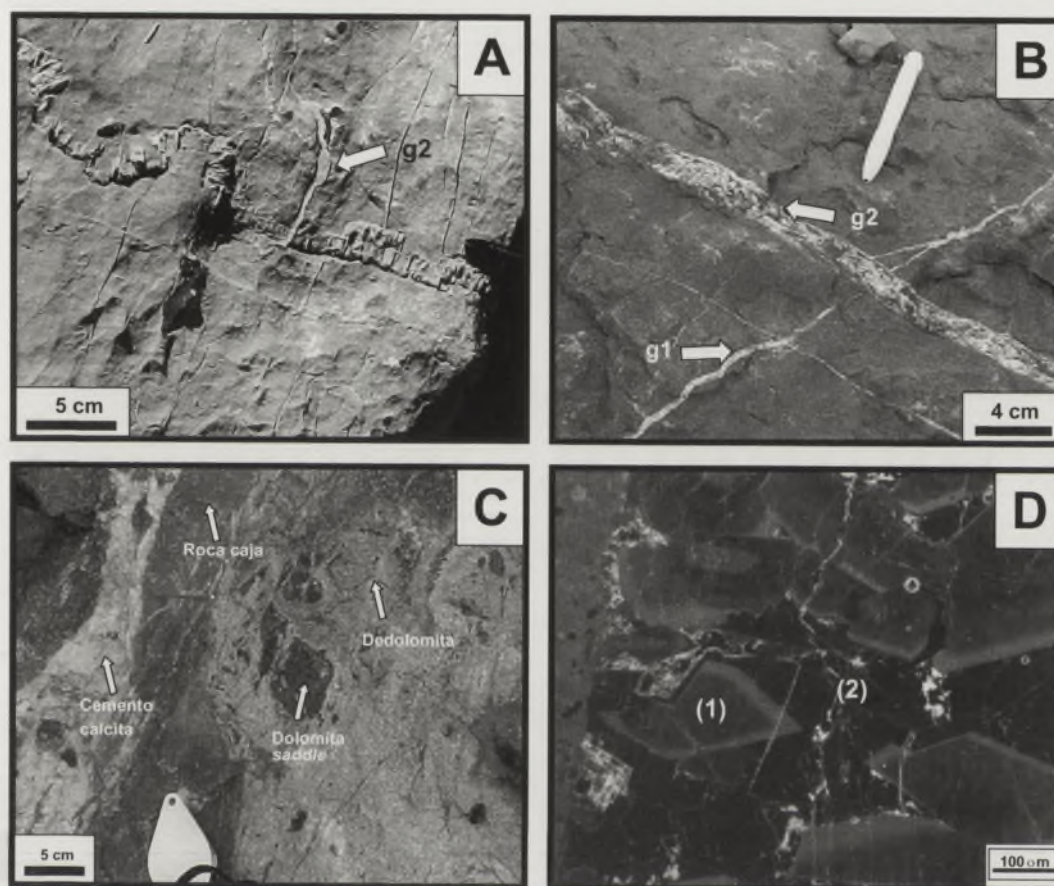


FIGURA 2. (A) Relación de corte entre las fracturas (g2) y los estilolitos estratiformes; (B) Las fracturas (g1) de color blanquecino están cortadas por las fracturas de color ocre (g2); (C) Aspecto brechificado en afloramiento del relleno de la estructura tipo "chimenea" asociada a una falla frágil; (D) Relleno de una fractura vertical (g2) desde el borde hacia el centro, con calcita de cristales zonados con luminiscencia rojo oscuro a rojo más brillante (1) que es posterior al cemento de calcita ocluyente no lumínica.

El tercer grupo (C) corresponde a dos familias de fallas frágiles. En el primer grupo (f1) se han medido 5 planos de fallas verticales con dirección predominante N-S. Presentan un sentido de movimiento principalmente de desgarre dextral. En ellas se observan cristales de calcita fibrosa con una orientación sub-horizontal y brechas de falla del mismo material. Dentro de la segunda familia (f2) se han observado tres planos de falla con una dirección media ENE-SW, con buzamientos entre 35°-50° y un movimiento principal de falla normal. Esta segunda familia de fallas claramente corta a los estilolitos estratiformes, e2. En dichas fallas se observan rellenos de rocas de falla y brechas, tanto de calcita como de dolomita-dedolomita con claro signo de alteración de tonos rojos-violáceos. En una de estas fallas aparece una estructura de tipo "chimenea" con materiales brechificados y posiblemente relacionado con la circulación de fluidos a alta presión.

Las relaciones cronológicas de las estructuras de la zona, muestran que las calizas han sido afectadas primero por una compresión ESE durante el Eoceno superior-Mioceno que ha dado lugar a los estilolitos transversales. Liesa (2000) señala la existencia de un régimen compresivo sub-horizontal de dirección ENE en régimen de desgarre ante-

rior a ésta. Posteriormente durante la etapa Mioceno-Plioceno se desarrollaría un régimen distensivo, dando lugar a los estilolitos estratiformes junto a una reactivación de fracturas dando lugar a fallas de componente normal (Fig. 3).

### Características de los rellenos

El primer conjunto de fracturas (g1) presenta un mosaico de cristales de calcita con un hábito rómbico, con caras curvadas y extinción ondulante cuando están en contacto con la roca encajante. Sin embargo, en la parte central del relleno de la fractura, los cristales son fibrosos, muy alargados y también con extinción ondulante. Las calcitas próximas al encajante muestran colores de catodoluminiscencia (CL) amarillo brillante y las del interior tienen luminiscencia naranja mate. La composición química es  $(\text{Ca}_{0.987}\text{Mg}_{0.011}\text{Fe}_{0.002}\text{Mn}_0)\text{CO}_3$  (promedio de 29 análisis) y la composición isotópica de ambas calcitas es de -8,8‰  $\text{d}^{18}\text{O}$  VPDB y  $\text{d}^{13}\text{C}$  de +0,8‰ VPDB.

Las fracturas g2 y la estructura en "chimenea" asociada a las fallas frágiles f2 están rellenas por cuatro generaciones de cementos (Fig. 2c): Dolomita rómbica, dolomita *saddle*, dedolomita y calcita.



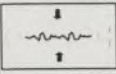
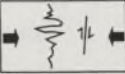
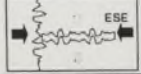
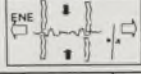
	Pre-Alpino	Orogenia Alpina		
Régimen Geodinámico	---	Etapa de compresión		Etapa de distensión
Edad	Mesozoico	Eoceno superior-Mioceno		Mioceno-Plioceno
Dirección	---	ESE		NE-SE
Tipo de discontinuidad	Estilolitos estratiformes	a) Estilolitos transversales (e1)	b) Primera generación de fracturas (g1)	c) Segunda generación de fracturas (g2) y estructura en "chimenea" asociada a (f2)
				
Tipo de cemento	---	---	Dolomita saddle?, dedolomita y calcita	Dolomita rómbica    Dedolomita    Calcita
Tipo de fluido	---	---	?	Hidrotermal    Meteorico    Hidrotermal
Temperatura (moda)	---	---	---	125°C    ---    110° a 170°C
Salinidad	---	---	---	alta    ---    de alta a baja

FIGURA 3. Esquema de la evolución temporal de las fracturas y los rellenos asociados en la subcuenca de Penyagolosa.

A) La dolomita rómbica consiste en pequeños cristales aislados (~800 nm). Con CL presentan un núcleo no luminescente con bordes calcíticos con alternancia de bandas finas de amarillas y naranjas brillantes. La composición química es  $(\text{Ca}_{0.548} \text{Mg}_{0.415} \text{Fe}_{0.036} \text{Mn}_0) \text{CO}_3$  (promedio de 11 análisis).

B) La dolomita *saddle* aparece como relictos tanto aislados como creciendo en el borde de las fracturas. Tiene caras curvas, extinción ondulante y es no luminescente. El contenido de  $\text{FeCO}_3$  es ligeramente inferior (media= 1,54% mol) que en las dolomitas rómbicas (media= 3,61% mol). Las temperaturas de homogenización (Th) y las salinidades, medidas en inclusiones fluidas primarias, de los cristales de dolomita *saddle* varían desde 110°C a 155°C (moda = 125°C) y entre 21,5 y 23,5% peso eq. NaCl (moda = 22,5%). Sus composiciones isotópicas varían entre  $\text{d}^{18}\text{O}$  -11,5 y -11,3‰ VPDB y entre  $\text{d}^{13}\text{C}$  +2,1 y +2,2‰ VPDB.

C) La fase de dedolomita consiste en cristales de calcita ricos en inclusiones de óxidos de Fe que reemplazan a la dolomita *saddle*, descrita anteriormente. La composición química es  $(\text{Ca}_{0.991} \text{Mg}_{0.006} \text{Fe}_{0.003} \text{Mn}_0) \text{CO}_3$  (promedio de 12 análisis). La composición isotópica  $\text{d}^{18}\text{O}$  varía entre -8,6 a -6,7‰ VPDB y  $\text{d}^{13}\text{C}$  entre -4,4 a +0,2‰ VPDB.

D) Finalmente, aparece un cemento calcítico caracterizado por grandes cristales euhedrales, con un zonado de rojo oscuro a rojo y una fase central no luminescente (Fig. 2d). Su composición química es  $(\text{Ca}_{0.989} \text{Mg}_{0.009} \text{Fe}_{0.001} \text{Mn}_0) \text{CO}_3$  (promedio de 35 análisis). Las Th medidas en inclusiones fluidas primarias tienen un valor máximo de 260°C y una moda de 170°C. Las salinidades varían desde 5,5 a 9,5% peso eq. NaCl (moda = 7%). Los valores de Th son considerablemente más altos que aquellos medidos en la dolomita *saddle* y los valores de isótopos de oxígeno son también los más negativos en comparación a las otras fases estudiadas.

## CONCLUSIONES

Debido a la alta temperatura y salinidades de las inclusiones fluidas, la presencia de dolomita *saddle* y el empobrecimiento en  $\text{d}^{18}\text{O}$ , los rellenos se han interpretado como

hidrotermales, posiblemente relacionados con las evaporitas triásicas o liásicas. Los datos composicionales y térmicos aportados sugieren que estos fluidos se mezclaron con aguas meteóricas que circularon, durante la etapa extensiva del Mioceno-Plioceno, a gran profundidad dando lugar a la precipitación de la última fase de calcita.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado mediante el proyecto BTE2000-0574-C03-02 de la DGICYT y por una beca FPU del MEC y D. Se agradece la ayuda prestada por el personal del laboratorio Dpto. de Petrología y Geoquímica de la UCM y al Dr. E. Arranz como revisor.

## REFERENCIAS

- Al-Aasm, I.S., Taylor, B.E. y South, B. (1990): Stable isotope analysis of multiple carbonate samples using selective acid extraction. *Chemical Geology*, 80: 119-125.
- Aurell, M., Mas, R., Meléndez, A. y Salas, R. (1994): El tránsito Jurásico-Cretácico en la Cordillera Ibérica: relación tectónica-sedimentación y evolución paleogeográfica. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18: 369-396.
- Capote, R., Muñoz, J.A. Simón, J.L., Liesa, C.L. y Arlegui, L.E. (2002): Alpine tectonics I: the Alpine system north of the Betic Cordillera. En: *The Geology of Spain* (W. Gibbons y T. Moreno, Eds.), The Geology Society of London: 367-400.
- Liesa, C.L. (2000): *Fracturación y campos de esfuerzos compresivos alpinos en la Cordillera Ibérica y el NE peninsular*. Tesis doctoral, Univ. de Zaragoza, 765 p.
- Salas, R. y Guimerà, J. (1997): Estructura y estratigrafía secuencial de la cuenca del Maestrazgo durante la etapa de rift jurásica superior-cretácica inferior (Cordillera Ibérica Oriental). *Boletín Geológico y Minero*, 108-4 y 5: 393-402.
- Simón, J. L. (1984): *Compresión y distensión alpinas en la Cordillera Ibérica oriental*. Tesis doctoral, Univ. de Zaragoza, 269 p.